

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ІВАНА ПУЛЮЯ
ФАКУЛЬТЕТ ІНЖЕНЕРІЇ МАШИН, СПОРУД І ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА КОНСТРУЮВАННЯ ВЕРСТАТІВ, ІНСТРУМЕНТІВ ТА МАШИН**

ТОРЧИЛО ОЛЕКСАНДР РОСТИСЛАВОВИЧ

УДК 621.9

**ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИВОДУ
ГОЛОВНОГО РУХУ ТОКАРНОГО АВТОМАТА З МЕХАНІЗМОМ
ЗАТИСКУ**

8.05050301 «Металорізальні верстати та системи»

Автореферат
дипломної роботи на здобуття
освітнього ступеня магістра

Тернопіль 2017

Роботу виконано на кафедрі конструювання верстатів, інструментів та машин Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя Міністерства освіти і науки України

Керівник роботи: кандидат технічних наук, професор кафедри конструювання верстатів, інструментів та машин
Кривий Петро Дмитрович
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Рецензент: кандидат технічних наук, доцент кафедри технологія машинобудування
Дичковський Михайло Григорович
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Захист відбудеться 21 лютого 2017 р. о 9⁰⁰ годині на засіданні експертної комісії №9 у Тернопільському національному технічному університеті імені Івана Пулюя за адресою: 46001, м. Тернопіль, вул. Руська, 56, навчальний корпус №4, ауд. 4-101.

1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

З розвитком науки про різання металів з'являються нові оброблюючі матеріали, які можуть забезпечити високі швидкості різання, що вимагає відповідного верстатного обладнання. Необхідність збільшення швидкостей різання ставить нові вимоги до приводів верстатів, зокрема, приводів головного руху. Для них використовують двигуни постійного струму з великим діапазоном регулювання та розширювальні коробки з мінімальною кількістю шестерень. При високих частотах обертання шпинделя та проміжних валів виникають коливання, що здійснюють значний вплив не лише на точність обробки, а і на безпеку роботи. Тому при проектуванні таких приводів та їх розрахунку необхідно враховувати в більшій мірі динамічні характеристики елементів приводу, зокрема власні частоти коливань, динамічну податливість, форми коливань тощо. Модернізація приводів головного руху токарних автоматів з підвищеними швидкісними характеристиками та дослідження динамічних характеристик елементів приводу для забезпечення надійності їх роботи є безумовно актуальною задачею.

Метою роботи є модернізація приводу головного руху токарного автомата з підвищеними швидкісними характеристиками та дослідження динамічних характеристик його елементів.

Задачі дослідження:

1. Встановити необхідні граничні частоти обертання шпинделя з урахуванням можливостей обробки сучасними інструментальними матеріалами, визначити силові характеристики коробки швидкостей та ефективну потужність різання.
2. Провести кінематичний розрахунок приводу головного руху.
3. Здійснити силовий розрахунок коробки швидкостей.
4. Провести модернізацію приводу головного руху та вибрати конструкцію шпиндельного вузла з механізмом затиску на основі аналізу існуючих верстатів-прототипів.
5. Провести розрахунок динамічних характеристик елементів коробки швидкостей, як багатомасових обертальних пружних систем.
6. Здійснити аналітичний розрахунок динамічних характеристик шпиндельного вузла, зокрема, власних частот коливань та форм коливань з урахуванням приведеної маси заготовки та механізму затиску в кінці шпинделя.
7. З використанням засобів САПР провести статичний та динамічний розрахунок шпиндельного вузла з урахуванням маси заготовки та механізму затиску.
8. Здійснити розрахунки економічної ефективності прийнятих

технічних рішень, та обґрунтувати їх відповідно до вимог охорони праці, безпеки життєдіяльності та охорони навколишнього середовища.

Об'єкт дослідження - привод головного руху токарного автомату з механізмом затиску.

Предмет дослідження – динамічні характеристики шпиндельного вузла та коробки швидкостей токарно автомату.

Методи дослідження. Основою роботи є комплексний підхід до модернізації приводу головного руху токарного автомату, з врахуванням впливу високих частот обертання на динамічні характеристики його елементів, на основі сучасних підходів до проектування металорізальних верстатів. Динамічні дослідження базуються на основних положеннях теорії коливань та динаміки верстатів.

Наукова новизна отриманих результатів полягає у розробленні динамічної моделі шпиндельного вузла токарного автомата та встановленні закономірностей впливу його конструкції та коливання заготовки на формування його динамічних характеристик.

Практичне значення отриманих результатів. Запропоновано конструкцію шпиндельного вузла з механізмом затиску. Розроблена динамічна модель шпиндельного вузла може бути використана при дослідженні нових шпиндельних вузлів. Запропоновані технічні рішення можуть бути використані для модернізації приводів аналогічних верстатів.

Апробація. Основні положення результатів дипломної роботи магістра обговорювались на двох конференціях, а саме: IX Всеукраїнській студентській науково-технічній конференції „Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання“ (Тернопіль, 2016), V Міжнародні науково-технічні конференції молодих учених та студентів. „Актуальні задачі сучасних технологій” (Тернопіль, 2016).

2. СТРУКТУРА РОБОТИ.

Робота складається зі вступу, 8 розділів, висновків, списку літератури (40 найменувань), 5 додатків. Загальний обсяг текстової частини - 181 сторінка, 42 таблиці, 98 рисунків.

3. ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** подано актуальність дипломної роботи магістра, сформульована мета досліджень та задачі, які необхідно виконати, відзначені об'єкт та предмет дослідження, описано наукову новизну та практичне значення отриманих результатів.

У «**Аналітичному розділі**» проведено аналіз базової моделі верстату 1В116 та верстатів аналогічного призначення, проаналізовані механізми затиску заготовок токарних автоматів та конструкції приводів головного руху з безступінчастим регулюванням швидкості. Проведено аналіз наукових

праць різних авторів, які досліджували дану проблему. Вибрано напрямок модернізації базової моделі верстату.

У «**Кінематичному розділі**» проведено розрахунок граничних режимів обробки для верстату 1B116 та необхідні силові характеристики обробки. Здійснено кінематичний розрахунок приводу головного руху: визначено діапазон регулювання, вибрано електродвигун постійного струму приводу головного руху – 4ПФ112М, визначено передаточні відношення коробки швидкостей, розроблено оптимальну кінематичну схему.

У «**Конструкторському розділі**» розроблено конструкцію приводу головного руху та проведено її розрахунок, а саме: визначено модуль передач та конструктивні параметри зубчастих коліс, проведено розрахунок валів на жорсткість, здійснено розрахунок згинних моментів на валах та проведено розрахунок зубчато-пасової передачі. Описано механізм подачі і затиску прутка в шпинделі.

У «**Науково-дослідному**» розділі проведено огляд попередніх результатів досліджень інших науковців [3, 4, 5, 6]. Значна увага була приділена дослідженню динамічних характеристик шпиндельного вузла. Проведено аналітичний розрахунок динамічних характеристик шпиндельного вузла та коробки швидкостей, зведена динамічна модель якої подана на рис. 1. Отримали графіки коливань на різних частотах обертання.

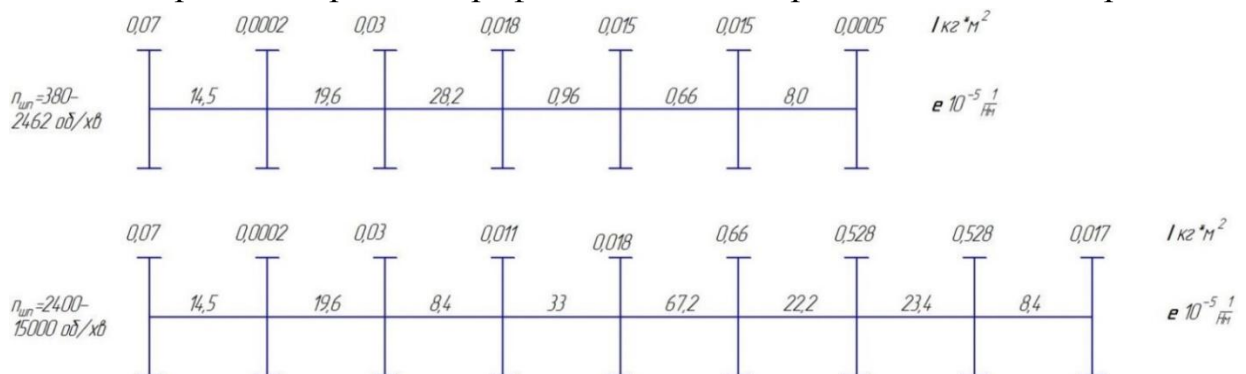


Рис. 1. Зведена динамічна розрахункова схема приводу головного руху верстата

У «**Спеціальній частині**» проведено комп'ютерний статичний і динамічний розрахунок шпиндельного вузла на основі використання програмного продукту SPINCH. Отримано графіки: форм коливань; динамічної податливості – амплітудно-частотної характеристики (АЧХ); амплітудно фазо-частотної характеристики (АФЧХ); розподілу демпфування за формами коливань, динамічної податливості шпиндельного вузла по дисбалансу.

У розділі «**Обґрунтування економічної ефективності**» проведено комплекс економічних розрахунків, які підтверджують економічну доцільність реалізації прийнятих інженерних рішень.

У розділі «**Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях**»

висвітлені питання про фінансування охорони праці на підприємстві, небезпеку при аварії на хімічно небезпечному об'єкті. Розраховано місцеве освітлення для верстата.

У розділі «Екологія» приділена увага утворенню відходів, що виникають при обробці на токарних верстатах та методам переробки твердих металевих відходів.

4. Висновки

1. З урахуванням сучасних інструментальних матеріалів для токарного автомата з діаметром оброблюваної заготовки $D_{max}=16$ мм встановлені необхідні частоти обертання шпинделя $n_{max}=15000$ об/хв, $n_{ном}=380$ об/хв, $n_{min}=30$ об/хв. Максимальна сила різання $P_z=2130$ Н, максимальна потужність – $N=3,98$ кВт.

2. Проведено кінематичний розрахунок приводу головного руху. Вибрано привод з електродвигуном постійного струму та двоступеневою розширювальною коробкою швидкостей та зубчасто-пасовою передачею. Діапазон регулювання коробки швидкостей з постійною потужністю – $R=15,43$, загальний – $R=37,5$.

3. Проведено силовий розрахунок коробки швидкостей. Визначено діаметри валів коробки швидкостей, модулі зубчастих коліс $m=3$ мм, максимальний крутний момент на валу коробки $T=111$ Нм.

4. Запропоновано конструкцію шпиндельного вузла з додатковою подаючою цангою та цанговим патроном натискного типу.

5. Розроблено динамічні розрахункові схеми приводу головного руху верстата, як багатомасової системи, проведено аналітичні розрахунки моментів інерції ланок, визначено власні частоти та амплітуди коливань валів. Частоти коливань при передаточному відношенні 20/49 – 285 Гц, 533 Гц, амплітуди $-0,717$ і $1,2$, $-0,5$ і $-1,16$ відповідно. При передаточному відношенні 49/20 – $57,7$ Гц, 85 Гц, амплітуди $-0,05$ і $-0,617$, $-1,28$ і $2,41$ відповідно.

6. Розроблено динамічну модель шпиндельного вузла. Частота коливань шпинделя з урахуванням приведеної маси заготовки до кінця шпинделя і маси механізму затиску – $36,15$ Гц, $99,7$ Гц, амплітуди $-0,27$ і $1,21$.

7. Здійснено статичний і динамічний розрахунок шпиндельного вузла з урахуванням маси заготовки з використанням програмного продукту SPINCH. Отримано графіки: форм коливань; динамічної податливості АЧХ; АФЧХ; розподілу демпфування за формами коливань, динамічної податливості шпиндельного вузла по дисбалансу. Критичні частоти коливань 463 Гц та 1406 Гц, при яких динамічна податливість становить $0,295$ мкм/Н та $0,236$ мкм/Н.

8. Економічний ефект від проектної розробки становить $2300,47$ грн. Обґрунтовані питання про фінансування охорони праці на підприємстві,

небезпеку при аварії на хімічно небезпечному об'єкті. Проаналізовано питання щодо утворення відходів, які виникають при обробці на токарних верстатах та методи переробки твердих металевих відходів.

5. Перелік наукових праць

1. Крупа В.В. Дослідження динамічних характеристик шпиндельного вузла із прутковою заготовкою [Текст] / Крупа В.В., Торчило О.Р. // Актуальні задачі сучасних технологій : зб. тез доповідей V міжнар. наук.-техн. конф. молодих учених та студентів, 17–18 листоп. 2016: тези допов. - Тернопіль : ТНТУ, 2016. С. 240.
2. Торчило О.Р. Модернізація токарного автомата для високошвидкісної обробки [Текст] /Крупа В.В., Торчило О. // Матеріали ІХ Всеукраїнської студентської науково-технічної конференції „Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання“, 20-21 квітня 2016р: тези допов. – Тернопіль : ТНТУ, 2016. - Т. 1., с. 170.
3. Ванин В.А. Расчёт и исследование динамических характеристик приводов металлорежущих станков [Текст] / В.А. Ванин, А.Н. Колодин, В.Г. Однолько. – Тамбов : ФГБОУ ВПО „ТГТУ“, 2012. – 120с.
4. Ривин Е.И. Динамика привода станков [Текст] / Е. Ривин. – М.: Машиностроение, 1966. – 210 с.
5. Кедров С.С. Колебание металлорежущих станков [Текст] / С.С. Кедров . – М.: Машиностроение, 1978. – 199 с.
6. Кудинов В.А. Динамика станков [Текст] / В.А. Кудинов. – М.: Машиностроение, 1967. – 359 с.
7. Kuznetsov Yu. Dynamic resiliently-forced features of high-speed chucks for turning working [Текст] / Yu. Kuznetsov, V. Voloshyn, F.El-Dahabi // Journal of fundamental sciences and applications. – Plovdiv, 2009. - №15. – С. 187-197.
8. Луців І.В. Динамічні характеристики підсистем верстатного оснащення адаптивного типу [Текст] / І.В. Луців, Р.Я. Лещук. // Вісник ТДТУ. - 2009. - Том 14. - № 4. - С. 99-107.
9. Кузнецов Ю.Н. Зажимные механизмы для высокопроизводительной обработки резанием: Монография. В 2-х ч. Ч.1: Основные сведения и принципы создания зажимных механизмов [Текст] / Ю.Н. Кузнецов, В.Н. Волошин, П.М. Неделчева, Ф.В. Эль-Дахаби. К.: ООО „ЗМОК“ – ООО „ГНОЗИС“, 2009. – 270с.
10. Кузнецов Ю.Н. Зажимные механизмы для высокопроизводительной обработки резанием: Монография. В 2-х ч. Ч.2: Конструкции, расчеты и исследование зажимных механизмов [Текст] / Ю.Н. Кузнецов, В.Н. Волошин, П.М. Неделчева, Ф.В. Эль-Дахаби. К.: ООО „ЗМОК“ – ООО „ГНОЗИС“, 2010. – 466с.
11. Кузнецов Ю.М. Технологічне оснащення високоефективної обробки на

токарних верстатах: Монографія [Текст] / Ю.М. Кузнецов, І.В. Луців, О.В. Шевченко, В.Н. Волошин. К.: -Тернопіль: Терно-граф. 2011. – 292 с.

12. Кузнецов Ю.М. Зажимные механизмы и технологическая оснастка для высокоэффективной токарной обработки [Текст] / Ю.Н. Кузнецов, О.И. Драчев, И.В. Луцев, А.В. Шевченко, В.Н. Волошин. :ТНТ, 2014. – 480 с.

6. Анотації

Торчило О.Р.; Дослідження динамічних характеристик приводу головного руху токарного автомата з механізмом затиску. 8.05050301 – Металорізальні верстати і системи; Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя; м. Тернопіль, 2017р.

У дипломній роботі магістра вирішені питання кінематичного та силового розрахунку модернізованого приводу головного руху токарного автомата. Встановлені граничні режими обробки та частоти обертання шпинделя у відповідності із сучасними інструментальними матеріалами і вимогами. Запропоновано конструкцію модернізованого шпиндельного вузла з механізмом затиску. Проведено розрахунок динамічних характеристик елементів коробки швидкостей. Здійснено розрахунок динамічних характеристик шпиндельного вузла, власних частот коливань та форм коливань з урахуванням приведеної маси заготовки та механізму затиску в кінці шпинделя. Розроблена динамічна модель шпиндельного вузла може бути використана при дослідженні нових шпиндельних вузлів.

Ключові слова: модернізація, шпиндельний вузол, коробка швидкостей, динамічні характеристики.

Torchylo O. Investigations of main motion drive dynamic behavior of automatic lathe with drawbar mechanism. 8.05050301 – “Metal cutting tools and systems”. Ternopil Ivan Pul’uj National Technical University, Ternopil, 2017.

The diploma thesis deals with the problems of kinematic and force analysis of modernized main motion drive of automatic lathe. Machining and spindle revolution frequency marginal modes were determined in compliance with modern instrumental materials and specifications. Design of modernized spindle unit with drawbar mechanism was proposed. Analysis of dynamic parameters of gear box components was provided. Analysis of dynamic parameters of spindle unit, its vibration frequencies and modes with allowance for specimen reduced mass and spindle drawbar mechanism was presented. The designed dynamic model of spindle unit can be employed at analyzing new spindle units.

Key words: modification, spindle unit, gear box, dynamic parameters.